

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie



Nikola Hronová

Změny epifytické lichenoflóry ČR s důrazem na aktuální stav

Changes in epiphytic lichen biota in the Czech Republic with emphasis on current
situation

Bakalářská práce

Školitel: Mgr. Jiří Malíček, Ph.D.

Praha, 2020

Poděkování:

Mé poděkování patří Mgr. Jiřímu Malíčkovi, Ph.D, nejtrpělivějšímu školiteli, za odborné vedení a ochotu konzultovat mé myšlenkové pochody téměř v jakýkoliv den a jakoukoliv denní dobu. Ráda bych též poděkovala svým nejbližším, kteří mě v psaní a studiu podporovali.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13. 8. 2020

Nikola Hronová

Abstrakt

V České republice došlo během posledních dvou století k významným změnám druhového složení lišejníkových společenstev. Tato bakalářská práce řeší, které vlivy byly pro proměnu epifytické lichenoflóry významné v historii, a které jsou významné dnes. Kyselé deště způsobené vysokými imisemi SO_2 a NO_x měly v minulosti nejvýznamnější vliv na změnu druhového složení lišejníků. Jimi způsobená acidifikace substrátů ovlivňuje lišejníky dodnes. Do konce 80. let 20. století byly kyselé deště dominantním faktorem ovlivňující lišejníky. Po zásadním poklesu jejich intenzity v 90. letech 20. stol. se staly dominantními ovlivňujícími faktory eutrofizace a dostupnost dusíkatých látek v krajině. Všemi těmito faktory byla ovlivněna především společenstva makrolišejníků, a zvláště pak cyanolišejníků natolik, že některé druhy v ČR vyhynuly. Recentně významná eutrofizace podpořila rozšíření zejména nitrofilních druhů. Díky poklesu emisí SO_2 na hodnoty z konce 19. století došlo k rekolonizaci některých území a návratu řady ohrožených druhů. Proměnu lišejníkových společenstev zásadně ovlivnilo i lesní hospodaření a způsob využívání krajiny. Na základě měnícího se klimatu a změny biotopů se předpokládá další ústup především suboceanických druhů. Rozšíření se očekává u epifytických lišejníků s mediteránním biogeografickým areálem. Několik takových druhů se u nás zcela nově objevilo v posledních letech.

Klíčová slova

acidifikace, eutrofizace, kyselé deště, rekolonizace, změna klimatu, znečištění ovzduší

Abstract

During the last two centuries a significant change of lichen communities has happened in the Czech Republic. Important factors which had influencing the lichen biota in the past and recently are summarized in this bachelor thesis. Acid rain caused by high imissions of SO₂ a NO_x was the most important factors of change of species and remaining acidification of substrates is still influencing lichen communities. Until the end of 80's of 20th century acid rain was a dominant factor influencing lichens. Afterwards, thanks to drop of its intensity in 90's of 20th eutrophication and availability of nitrogen in landscape became dominant influencing factors. All these factors mainly affected the communities of macrolichens, and especially cyanolichens to such an extent that some species in the Czech Republic became extinct. Recently the increasing availability of nutrients has been supporting the spread of nitrophilous species. Due to decrease of SO₂ emissions to values from the end of 19th century some areas have been recolonized and some endangered species have returned. The transformation of lichen communities has also been significantly affected by forest management and land use. Based on changing climate and change of natural habitats a further decline mainly of suboceanic species is expected. A more frequent occurrence of epiphytic lichens with mediterranean biogeographical range is expected in the future. Several such species have been newly recorded in our country.

Keywords

acidification, acid rain, air pollution, eutrophication, recolonization, climate change

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 12 |
| 1 Hlavní faktory ovlivňují společenstva lišejníků | 13 |
| 1.1 Kyselý déšť | 13 |
| 1.1.1 Formace kyselých dešťů a zdroje emisí podporujících jejich vznik..... | 13 |
| 1.1.2 Vývoj úrovně kyselých dešťů v České republice | 14 |
| 1.2 Eutrofizace | 16 |
| 1.2.1 Sloučeniny dusíku, fosforu a jejich role ve výživě lišejníků | 17 |
| 1.2.2 Míra eutrofizace v České republice a její vývoj | 17 |
| 1.3 Další faktory | 19 |
| 1.3.1 Mikroklima | 19 |
| 2 Změny epifytické lichenoflóry v ČR | 21 |
| 2.1 Ustupující druhy | 21 |
| 2.2 Rozšiřující se druhy | 26 |
| 2.3 Změny substrátových preferencí | 29 |
| 2.4 Proces rekolonizace | 30 |
| 3 Recentní vývoj lichenoflóry v Evropě | 31 |
| 4 Závěr | 33 |
| Seznam použité literatury | 35 |

Seznam použitých zkratek

| | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| agg. | agregát druhů |
| ATP | adenosintrifosfát |
| CO ₂ | oxidu uhličitý |
| NO _x | oxidy dusíku |
| NO ₃ ⁻ | dusičnanový anion |
| NH ₃ | amoniak |
| SO ₂ | oxid siřičitý |
| spp. | různé druhy v rámci určitého rodu |

Úvod

Lišejníky byly na počátku 20. století označeny za bioindikátory čistoty ovzduší. Již v polovině 18. století byl pozorován ústup těchto organismů z oblastí s vysokou mírou znečištění ovzduší. Jelikož tyto organismy nemají žádné kořeny, přijímají veškeré esenciální prvky a vodu celým povrchem organismu takzvané stélky. Jedná se o takzvané poikilohydrické organismy. I kvůli absenci ochranné kutikuly, která chrání cévnaté rostliny od nepříznivých vnějších vlivů, jsou lišejníky velice náročné na čistotu ovzduší (Beckett, 1995). Oxid siřičitý, který může nejen za znečištění ovzduší, ale i za následnou formaci kyselých dešťů, má na lišejníky devastující účinek. Epifytické makrolišejníky jsou specifické právě svou velikostí a růstem na substrátu, většinou dřevinách. Tyto vlastnosti z epifytických makrolišejníků však činí obzvláště citlivou skupinu ke kyselým dešťům a oxidu siřičitému právě kvůli jejich, často exponovaným, stélkám. Kyselé deště zároveň mění i vlastnosti substrátu, na kterých se epifyti vyskytují (Hauck, 2008). Většina epifytických lišejníků po přílišném okyselení substrátu mizí. Zejména se jedná o nitrofilní druhy, které nesnesou přílišné okyselení substrátu a preferují vyšší dostupnost živin v prostředí. I množství dostupných živin tedy může ovlivňovat druhové složení lišejníků. Zejména dusík, jež je většinou limitním prvkem pro růst rostlin, v nadbytku způsobuje úbytek společenstev vyhledávající prostředí s nízkým obsahem živin. Většinou se jedná o kyselomilné, takzvané acidofilní druhy (Ellis, 2019; Søchting, 1995).

Zásadním cílem této práce je popsat změny druhového složení lišejníků v čase na území České republiky. Která lišejníková společenstva zaznamenala nejvýznamnější ústup, která se naopak rozšířila a jaké zásadní společné charakteristické vlastnosti mají ubývající druhy a jaké charakteristické vlastnosti mají rozšiřující se druhy? Jaké byly důvody ústupu nebo naopak rozšíření lišejníkových společenstev a co lze na základě těchto poznatků očekávat do budoucna?

1 Hlavní faktory ovlivňují společenstva lišejníků

1.1 Kyselý déšť

Jedním z důsledků lidské činnosti, který má negativní vliv na životní prostředí a zároveň na druhové složení lišejníků, je kyselý déšť. Jedná se o přírodní jev deště se specifickými chemickými vlastnostmi. Tato specifika mají signifikantní projev v nízkém pH (Singh and Agrawal, 2008). Mírnou kyselost neboli nízké pH způsobuje všudypřítomnost oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře, který reaguje s vodou za vzniku slabé kyseliny uhličitě (H_2CO_3). Přirozené pH deště není po celé Zemi jednotné. Každý region má své unikátní přirozené pH srážek, jež je závislé na velikosti regionu a kyselých či zásaditých prekurzorech. Pro zjednodušení byla stanovena referenční hodnota přirozeného pH srážek na 5,6 (Galloway et al., 1982).

1.1.1 Formace kyselých dešťů a zdroje emisí podporujících jejich vznik

Procesem spalování různých materiálů vznikají plyny, které se šíří do atmosféry. V urbanizovaných územích dochází k těmto procesům především kvůli potřebě získání energie. V centrální a západní Evropě jsou pro výrobu energie běžně využívána paliva z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů. Předpokladem ke vzniku kyselého deště je dosažení limitní koncentrace znečišťujících plynů v ovzduší (Cullis and Hirschler, 1980).

Mezi nejběžněji emitované plyny do ovzduší, které podporují vznik kyselých dešťů, patří oxid siřičitý (SO_2) a oxidy dusíku, obecně psané jako NO_x (jedná se o oxid dusnatý a oxid dusičitý NO a NO_2). Tyto plyny nemusejí vznikat pouze lidskou činností, mohou být emitovány do ovzduší i z běžných přírodních zdrojů. Mezi přírodní zdroje SO_2 patří například sopečná činnost nebo rozklad biomasy v půdě za vzniku sulfanu (H_2S) a jeho následná oxidace (Bhargava, 2013). NO_x jsou do ovzduší přirozeně emitovány při požárech, kdy k největšímu uvolnění NO_x dochází během požárů v savanách, kde jsou požáry nejefektivnější. Dochází zde ke spálení největšího množství biomasy i díky nízké humiditě, která je pro savanu typická. Dalšími přirozenými zdroji NO_x jsou biogenní procesy půdních bakterií a elektrostatické výboje v atmosféře (Delmas et al., 1997).

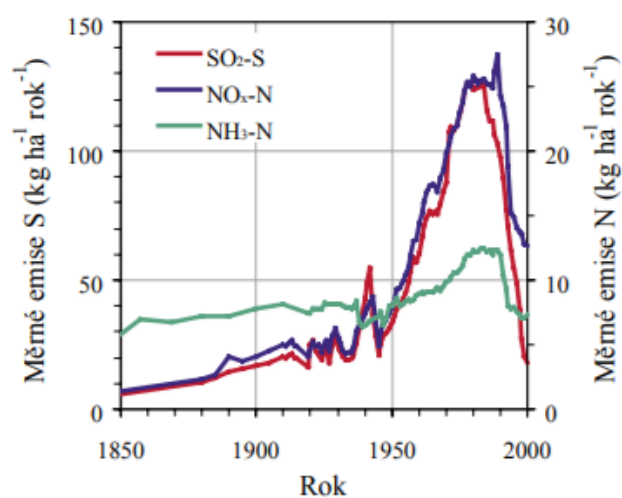
Déšť je soubor aniontů, kationtů a vody. Rozdíl mezi množstvím kladně a záporně nabitých iontů udává jeho výsledné pH. Hlavními anionty způsobující kyselost dešťů jsou síranové anionty (SO_4^{2-}) a dusičnanové anionty (NO_3^-). Kationty vyskytující se v dešti jsou např.: amonné, hořečnaté a sodné (NH_4^+ , Mg_2^+ , Na^+) (Parungo et al., 1987). Samotný kyselý déšť vzniká tzv. mokrou depozicí síry a dusíku. Při mokré depozici dochází

k vymývání plynných NO_x a SO_2 z atmosféry deštěm a sněhem. Reakcí vody a plynných polutantů vznikají následně slabé kyseliny, které mají ničivý dopad na lichenofloru (Gilbert, 1986; Smith and Fowler, 2001).

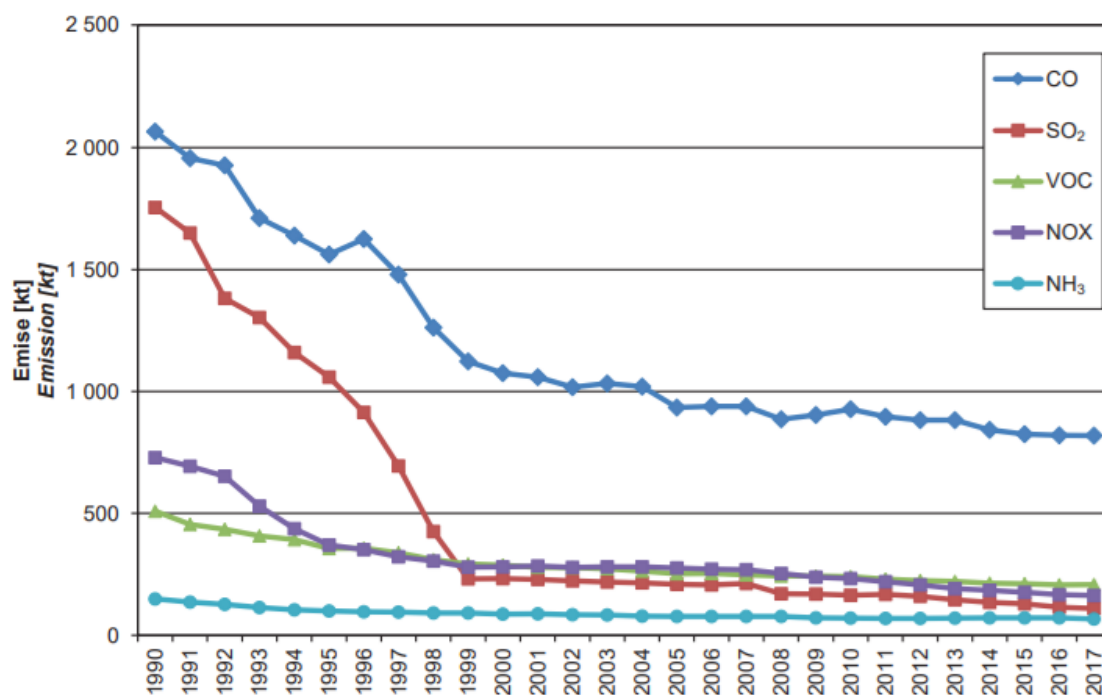
1.1.2 Vývoj úrovně kyselých dešťů v České republice

Kyselé deště se zásadně projevíly i v České republice a jejich dopad byl velmi významný. Od roku 1850 do 40. let 20. stol. lze pozorovat jen mírný nárůst emisí SO_2 . V těchto letech bylo hlavním zdrojem emisí především spalování dřeva a pražení rud. Prudký nárůst emisí byl zřejmý po 40. letech, kdy došlo k rozvoji těžkého průmyslu (Hruška and Kopáček, 2009). Zdaleka největším producentem emisí, způsobujících kyselé deště, byla oblast nacházející se na hranici dnešních severních Čech, Polska a Německa. Od roku 1960 do roku 1989 tato oblast produkovala prudce rostoucí množství SO_2 viz obr. 1. V těchto letech produkovalo bývalé Československo na 1,5 miliónu tun SO_2 za rok. Hlavním emisním zdrojem SO_2 bylo v průběhu let spalování hnědého uhlí (Hruška et al., 2005).

V roce 1987 byly naměřeny nejvyšší emisní hodnoty SO_2 . Po deseti letech došlo k jejich snížení téměř na polovinu. Stalo se tak díky změně režimu, restrukturalizaci a odsíření většiny elektráren. Omezení spalování hnědého uhlí mělo též významný vliv (Novák et al., 2005). Vývoj emisních hodnot NO_x byl analogický vývoji SO_2 popsaného výše. Nejvyššími zdroji antropogenního NO_x bylo spalování pevných fosilních paliv (černého uhlí) pro výrobu elektřiny a automobilová doprava. Přičemž při nízkých okolních teplotách je produkce NO_x během spalování dvojnásobná. K významnému snížení emisí NO_x došlo díky nahrazení tuhých paliv plynem (Pacyna et al., 1991). Další významnou událostí byl rok 1992, kdy nabyl platnosti zákon č. 114/1992 O ochraně přírody a krajiny. Sametová revoluce tak byla nejen politickým převratem, ale i důležitou událostí pro ochranu životního prostředí.

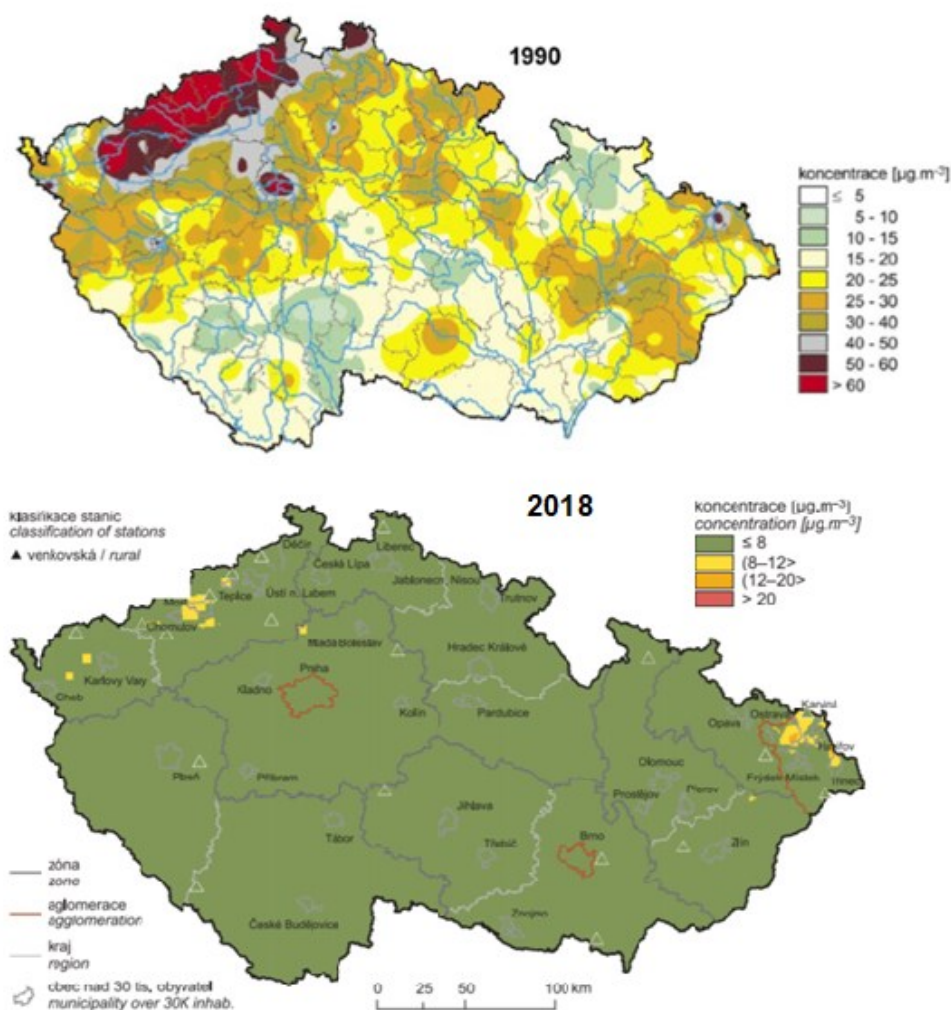


Obr. č. 1 Vývoj emisí znečišťujících látek v bývalém Československu a dnešní České republice. Nejvyšších hodnot dosahovaly emise v 80. letech 20. století (Hruška et al., 2005).



Obr. č. 2 Historický vývoj emisí znečišťujících látek na území České republiky po roce 1990. Zdroj (Beláková et al., 2019).

Podle dat z ČHMÚ nebylo území České republiky ve všech regionech zasaženo kyselými dešti stejně. Mezi nejvíce postižené oblasti spadala na konci 80. let Praha, Krušné hory a Podkrušnohoří, Frýdlant a Ostravsko.



Obr. č. 3 Srovnání průměrných ročních koncentrací SO_2 udávaných v $\mu\text{g.m}^{-3}$. Srovnání roku 1990 a 2018.

Zdroj: (Hruška et al., 2005) a (Brzezina et al., 2019)

I přes významné snížení koncentrací SO_2 v ovzduší stále dochází ke změnám chemismu půd i vodních toků. Devastující účinky kyselých dešťů jsou stále aktuálním tématem. Na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu lze pozorovat v současné době stále klesající hodnoty emisí SO_2 (viz obr. č. 2). Ze zobrazeného trendu hodnot je možno předpokládat i budoucí mírný pokles emisí SO_2 . Trend vývoje NO_x je rovněž klesající.

1.2 Eutrofizace

Dalším důležitým faktorem, který má zásadní vliv na životní prostředí a lichenoflóru, je dostupnost živin. Každé prostředí má svou úživnost a vlastní koloběh živin. Pokud je tento koloběh narušen jejich umělým dodáním za účelem zvýšení úživnosti prostředí, může dojít k přesycení prostředí živinami, takzvané eutrofizaci. Tento pojem

byl dříve používán především v souvislosti s vodním ekosystémem a růstem vodního květu (Kočí et al., 2000). V kontextu této práce je pojem eutrofizace primárně chápán jako zvýšená dostupnost především dusíku.

1.2.1 Sloučeniny dusíku, fosforu a jejich role ve výživě lišejníků

Zvýšenou depozici dusíku a fosforu, jedněch z nejdůležitějších esenciálních prvků pro růst rostlin a lišejníků, ovlivňuje dostupnost těchto prvků v prostředí. Dusík je v bezcévných rostlinách důležitým stavebním prvkem pro aminokyseliny a následnou tvorbu veškerých proteinů. Je tedy velmi důležitý pro správný růst a vývoj celého lišejníku. Převážná část lišejníků je schopna dusík přijmout ve formě NO_3^- a amonného kationtu (NH_4^+), lišejníky se symbiotickou sinicí jsou pak schopny využít i vzdušný dusík. Fosfor je důležitý pro svou schopnost tvořit makroergní vazby a zajišťovat tak rostlinám potřebnou zásobu energie ve formě ATP. Nedostatek se projevuje opět menším vzrůstem rostliny a celkově špatným vývojem. Dostupný fosfor pro rostliny je pouze ve formě aniontů H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} (Uchida, 2000).

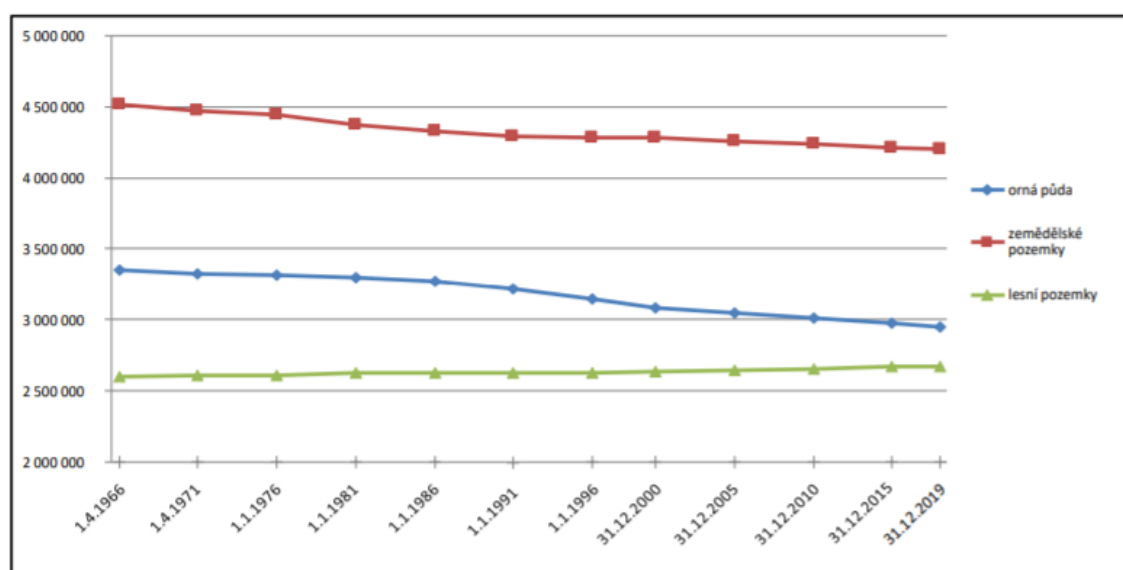
Oba tyto prvky jsou nejběžnějšími složkami anorganických (soli kyseliny dusičné a trihydrogenfosforečné) a organických hnojiv (močůvka, kompost, tedy i odpadních produktů živých organismů) a dále jsou též součástí odpadních vod. Důležitou roli v kontextu eutrofizace a lichenoflóry hraje jak amoniak (NH_3), tak i NO_x . NH_3 má totiž schopnost po uvolnění do ovzduší přijímat proton vodíku a vzniká tak NH_4^+ . NO_x v atmosféře reagují za vzniku kyseliny dusičné (HNO_3), její disociací poté vzniká NO_3^- . Tyto formy dusíku jsou pro rostliny dostupné a mohou být jimi využity (Hruška and Kopáček, 2009).

Za největší množství emitovaného NH_3 do ovzduší může chov skotu a prasat a nadměrné využívání hnojiv. U hnojiv nastává největší problém při využití většího množství, než je schopna vegetace účinně zpracovat. Živiny, které vegetace nezabuduje do své biomasy, jsou uvolňovány, a přispívají ke změnám okolního prostředí svou zvýšenou dostupností (Olivier et al., 1998).

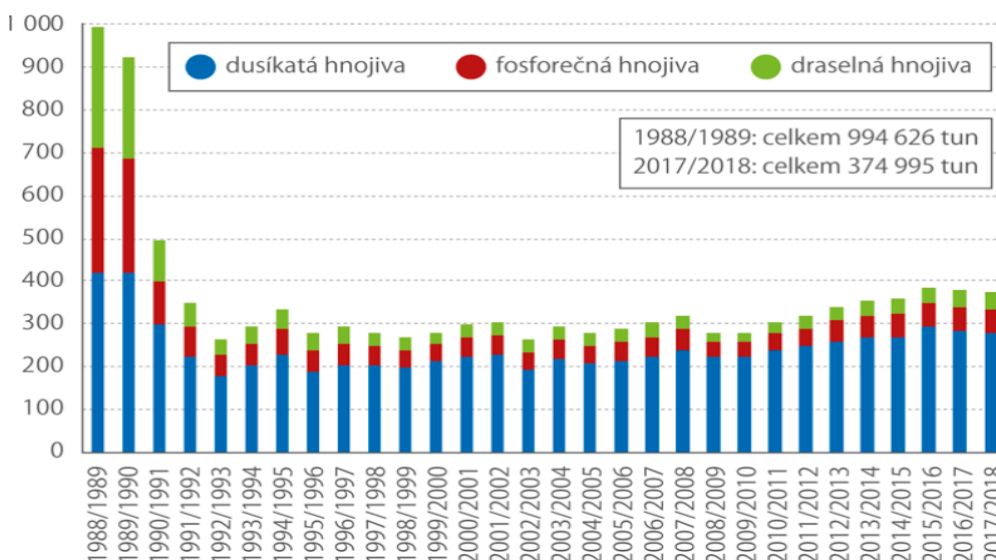
1.2.2 Míra eutrofizace v České republice a její vývoj

Míra eutrofizace v České republice je ovlivňována několika faktory. Tím prvním je zemědělství. V průběhu posledních 50 let došlo ke snížení výměry zemědělské půdy zhruba o 300 000 ha z původních 4 500 000 ha v roce 1966. I přes klesající trend výměry zemědělské půdy viz obr. 4 jsou však nároky na její výnos vysoké (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2020). Celková spotřeba anorganických hnojiv dramaticky

klesla během posledních 30 let. Nejzásadněji mezi lety 1989 a 1993, kdy došlo k jejímu snížení zhruba o dvě třetiny. Ke snížení spotřeby mohlo dojít především díky lepšímu porozumění výživě rostlin a cílenější aplikaci. Spotřeba dusíkatých hnojiv je však aktuálně téměř stejná jako v roce 1989 viz obr. 5. Dnes tvoří dusíkatá složka zásadní část hnojiv. Její užívání způsobuje nadbytek dusíku, který stále překračuje limit Evropské unie. Větší sucho a vydatnější přívalové deště způsobují silnou erozi půdy a vyplavené živiny z povrchových vrstev půdy mají následně znatelný dopad na okolní prostředí (Mácová, 2019).

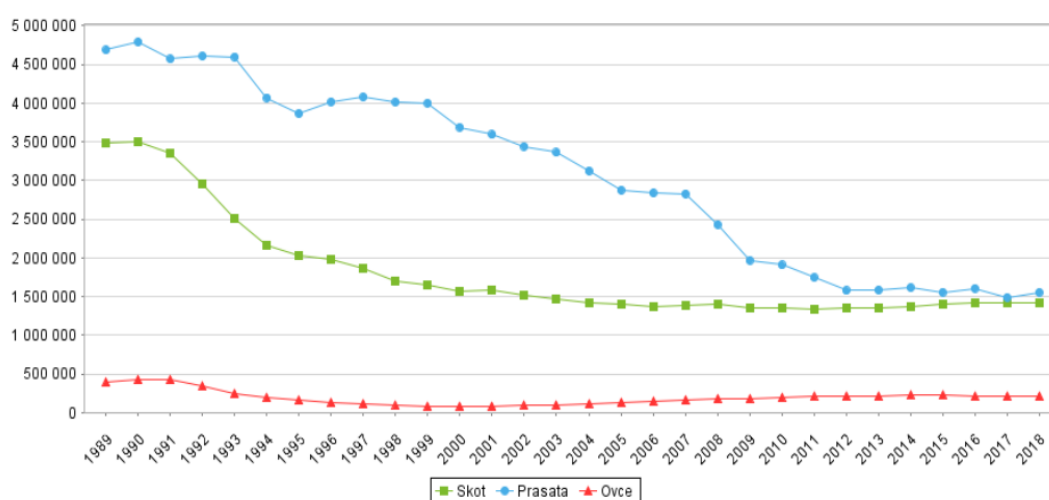


Obr. č. 4 Graf vývoje orné půdy, zemědělských pozemků a lesních pozemků. Udáváno v ha Zdroj: (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2020).



Obr. č. 5 Roční spotřeba anorganických hnojiv v České republice. Udáváno v 10³ tun čistých živin. Zdroj: (Mácová, 2019)

Součástí zemědělství, které významně přispívá k eutrofizaci, je chov hospodářských zvířat. Chov krav a prasat v České republice se po roce 1990 začal postupně snižovat. Vývoj jeho stavů lze pozorovat na obr. č. 6. Po politickém převratu došlo k liberalizaci cen a ovlivnění tuzemské ekonomiky zahraničními cenami produktů. V důsledku toho se zvýšily ceny potravin skoro o 25% a došlo ke snížení odbytu živočišných produktů, a tedy i snížení chovu hospodářských zvířat (Fürstová, 2006). Důležitým projevem poklesu chovu a snížení aplikace hnojiv je snížení emisních hodnot NH_3 (viz obr. 2).



Obr. č. 6 Vývoj stavů hospodářských zvířat v ČR od roku 1989 do roku 2018. Udáváno v kusech. Zdroj: (Český statistický úřad, 2020)

1.3 Další faktory

1.3.1 Mikroklima a makroklima

Lišejníky vyžadují pro svůj růst a vývoj specifické mikroklimatické podmínky. Ty zahrnují soubor vlastností malé oblasti určitého prostředí, v němž se daný organismus vyskytuje. I například v rámci jednoho stromu lze nalézt více oblastí s různými mikroklimatickými podmínkami. Koruna stromu a jeho větve jsou více exponované, než jeho kmen. Jsou tedy více osvětleny, ale zároveň neposkytují lišejníkům ochranu na rozdíl od jeho kmenu, který je větvemi krytý a je tak lepším úkrytem před přímými vnějšími vlivy. (Coxson and Stevenson, 2007; Lücking, 1997). Zejména světelná intenzita, teplota a vlhkost patří mezi nejdůležitější mikroklimatické faktory, na jejichž změnu lišejníky reagují (Matlack, 1993).

Makroklimatické podmínky mohou být velmi snadno narušeny antropogenními zásahy, zejména intenzivním lesnictvím. Lesy, ve kterých je rozmanitá druhová skladba stromů a vysoké množství biomasy nabízejí lišejníkům velmi vhodné podmínky pro život. Je tedy pravděpodobné, že v takových lesích bude velmi rozmanité druhové složení lišejníků. Výběrová těžba dřeva, případně lokální polomy mohou vytvářet v lesích světliny, a tudíž mohou druhovou rozmanitost dokonce podpořit (Tanona and Czarnota, 2019). Naopak intenzivní těžba dřeva, která často vyústí v holoseče, je pro druhovou rozmanitost naprosto devastující. Stejně tak sadba stromových monokultur (Aude and Poulsen, 2000; Boch et al., 2013). K intenzivnímu lesnictví docházelo na našem území již ve 13. století a od té doby se velmi významně změnila druhová skladba našich lesů (Lenoch, 2014). Studium konkrétních vlivů intenzity lesnictví na druhové složení lišejníků v různých regionech ČR a měnící se lesní skladba by zasloužilo pozornost, avšak toto téma nezpracovává příliš mnoho zdrojů.

I změna teploty může mít dopad na druhové složení lišejníků. Zvýšená teplota nemusí lišejníky ovlivňovat přímo, ale může změnit jejich přirozený biotop. V oblastech, kde vlivem globálního oteplování dochází ke zlepšení podmínek pro růst cévnatých rostlin, jsou společenstva lišejníků ohrožena jejich konkurencí. Především se jedná o terikolní druhy. Ty nejsou téměř schopné konkurovat cévnatým rostlinám. Mezi nejzranitelnější biotopy patří ostrovy, arktické a antarktické oblasti, tundry a tropické oblasti s vysokou nadmořskou výškou nebo lokálním endemismem. Pokud totiž dojde v těchto oblastech i k malé změně životních podmínek, lišejníky přestanou být schopny konkurence (Aptroot, 2009). Klimatická změna může též vést ke změně zastoupení forofytů, případně může podpořit šíření invazních druhů forofytů. Ty potom mohou například vytlačovat původní lesní porosty (Nascimbene et al., 2020).

2 Změny epifytické lichenoflóry v ČR

Na druhové složení epifytických lišejníků mají zásadní vliv kyselé deště, eutrofizace a některé další vlivy (intenzifikace lesního hospodaření, fragmentace krajiny, globální oteplování apod.). Kyselé deště a následná acidifikace ovlivňuje lišejníky přímo, protože s klesajícím pH je blokována funkčnost nitrogenázy u symbiotických sinic. Ty potom ztrácí schopnost fixace vzdušného dusíku. K tomuto procesu dochází pouze u cyanolíšejnů. (Fritz-Sheridan, 1985; Hallingbäck and Kellner, 1992). V podmínkách s nízkým pH (nižší než 3.0) může u lišejníků též docházet k abnormálnímu větvení a menšímu vzrůstu (Hutchinson et al., 1986). Kyselý dešť dále ovlivňuje pH substrátu, na němž se epifytické lišejníky vyskytují. S rostoucí koncentrací SO_2 a NO_2 v ovzduší dochází k chemickým reakcím na povrchu kůry. Povrch je následně acidifikován a jeho pH klesá. Ke klesajícímu pH jsou nejcitlivější především nitrofilní druhy, které následně mizí. Samotné SO_2 je pro lišejníky toxické a jeho vysoká koncentrace pro ně vytváří nehostinné prostředí. Naopak NH_3 je sloučeninou, která svým rostoucím množstvím pozitivně ovlivňuje pH kůry (Liška and Herben, 2008; Van Dobben and Ter Braak, 1998).

Nahrazení smíšených lesů smrkovými monokulturami, odstraňování starých zetlelých stromů a těžba dřeva se podepsaly na změně mikroklimatu českých lesů. Přesto se nám však podařilo uchránit část pralesů a je zde stále možno najít vysokou diverzitu lichenoflóry. Například Šumava je jedním z nejdůležitějších refugií pro mnoho epifytických druhů lišejníků (Liška et al., 1996).

2.1 Ustupující druhy

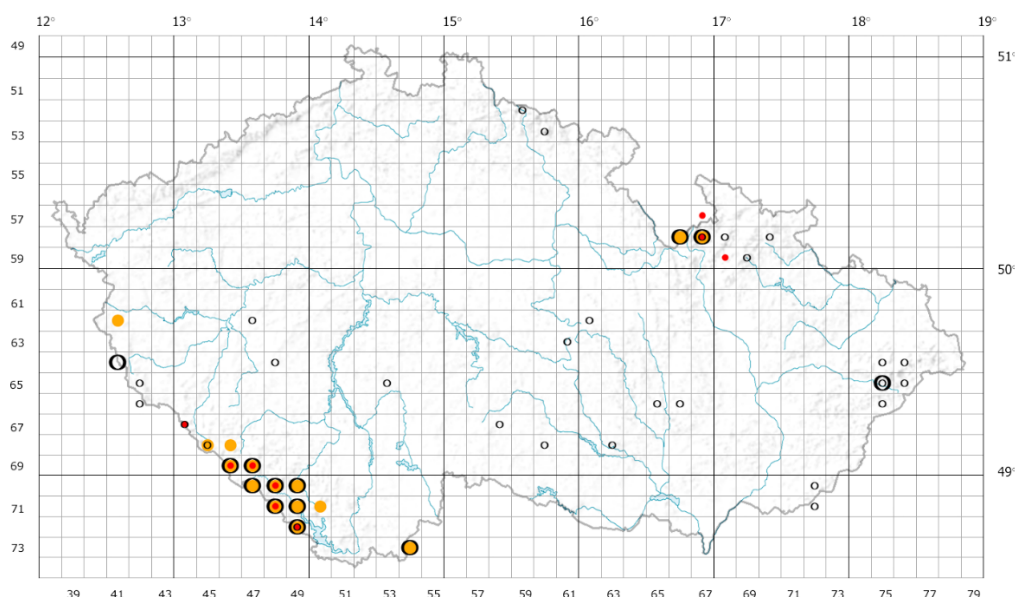
Epifytické lišejníky tvoří zásadní část všech ohrožených druhů lišejníků uvedených na Červeném seznamu lišejníků (Liška and Palice, 2010). Během posledních 100 let ustoupily z území ČR zejména epifytické makrolíšejnů a cyanolíšejnů (lišejníky se symbiotickou sinicí). Cyanolíšejnů tvoří jednu z nejcitlivějších skupin lišejníků ke znečištění ovzduší a změnám životního prostředí (Rikkinen, 2015). K zásadnímu degradujícímu ovlivnění druhového složení došlo zejména v severní a severozápadní části Česka, a to kvůli nejsilnějšímu zasažení tohoto území kyselými dešti. Důvodem ústupu těchto lišejníků je nejen znečišťování ovzduší SO_2 , NO_x a jejich následky, ale i změna lesního hospodaření, eutrofizace, kyselý dešť a následná acidifikace. Vyhraněné ekologické preference též zapříčinily, že poslední stélky některých druhů nejsou schopny osídlit další prostředí právě kvůli výše uvedeným změnám (Liška

et al., 1998a). Ačkoliv došlo k významnému úbytku některých lišejníků, díky intenzivnímu výzkumu lichenoflóry v poslední době byly nalezeny další přežívající populace některých druhů.

Nápadný úbytek byl pozorován například u druhů *Evernia divaricata*, *E. mesomorpha*, *Menegazzia terebrata*, *Cetraria sepincola*, *Sphaerophorus globosus*, *Usnea longissima* a cyanolišejníků: *Lobaria amplissima* (*Ricasolia amplissima*), *L. pulmonaria*, *Nephroma bellum*, *N. parile* a *N. resupinatum*. Mezi vzácné mikrolišejníky, které též zaznamenaly výrazný úbytek na našem území, patří například: *Normandina pulchella*, *Lopadium disciforme*. Všechny tyto druhy jsou velice senzitivní ke znečištění ovzduší. *Lobaria amplissima*, *L. pulmonaria*, *M. terebrata*, *N. parile* a *S. globosus* citlivě reagují i na změny skladby lesních porostů a celkově změny lesního hospodaření. Právě například *L. amplissima*, *L. pulmonaria* a *N. parile* vyhledávají především pralesní porosty (Liška et al., 1998b, 1996).

Lobaria amplissima je epifytický lišejník vyhledávající především opadavé stromy (*Fagus sylvatica*, *Acer pseudoplatanus*). Záznamy o jeho výskytu z roku 1994 jsou pouze ze dvou jednotlivých, izolovaných stromů na Šumavě. Jelikož tento druh není schopný osídlit nové substráty kvůli změnám v lesním hospodaření a acidifikaci, pravděpodobně u nás vyhyne (Liška et al., 1996). Na poslední Šumavské lokalitě byla *L. amplissima* nalezena i po roce 2010 (AOPK, 2020).

Druh, který je svou reakcí na znečištění ovzduší a změnu lesního hospodaření téměř učebnicovým příkladem, je *Lobaria pulmonaria* (viz obr. č. 9). Tento lišejník býval běžný v horských oblastech, kde preferoval bukové lesy. Výjimečně se vyskytoval i v nižších polohách, odkud vymizel (viz obr. č. 7) (Liška et al., 1996). Nedávné záznamy o jeho nalezení pocházejí ze Šumavy, kde se ještě vyskytuje poměrně početná populace produkující apothecia. Dále z Českého lesa, Králického Sněžníku, z Beskyd a z Novohradských hor viz obr. 7 (Palice, 2017).



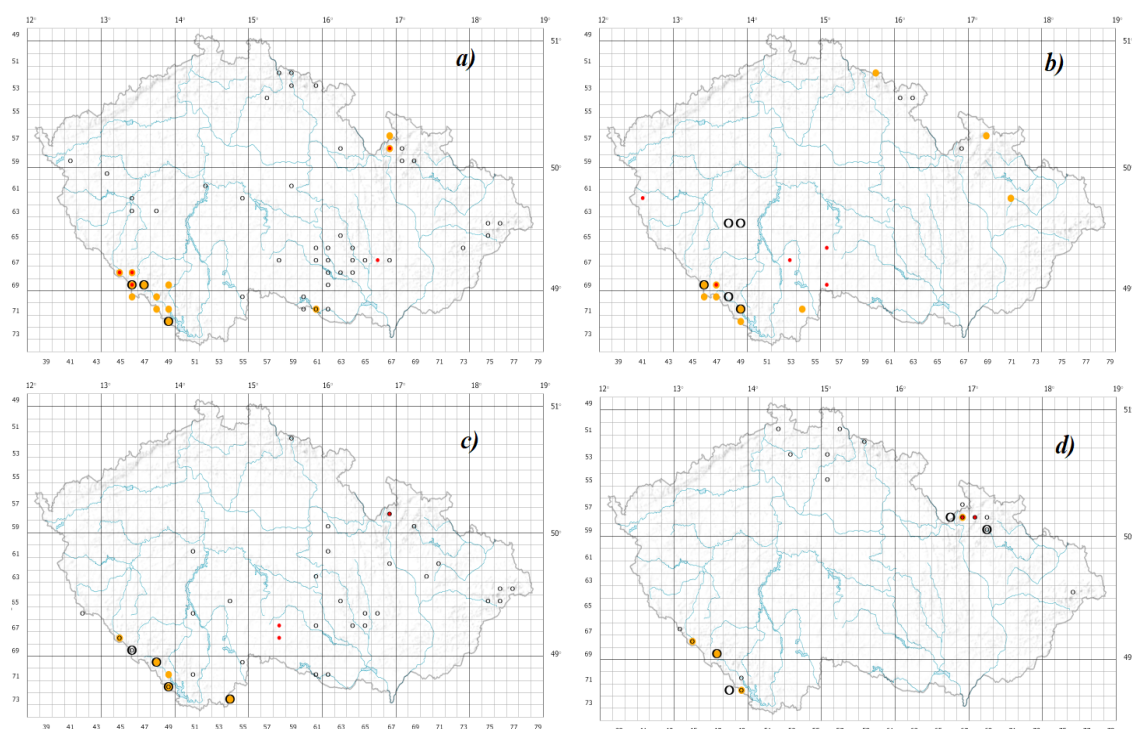
Obr. č. 7. Změny výskytu *Lobaria pulmonaria*. Prázdné malé kroužky a barevné body značí nálezy v období 1949-2009, tučné velké kroužky označují nálezy po r. 2010 Zdroj: (AOPK, 2020)

Další citlivé makrolišejníky *Cetraria sepincola* a *Menegazzia terebrata* zaznamenaly úbytek, protože se jedná o druhy vyskytující se převážně v horských oblastech. *Cetraria sepincola*, která se ve vyšších polohách vyskytuje především na *Pinus mugo* a v nižších téměř výhradně na březových větvích, dramaticky ustoupila ze severu Čech. Z Krkonoš a Jizerských hor jsou poslední záznamy o tomto druhu z roku 1960. Záznamy o výskytu z let 1970–1996 pocházejí především ze Šumavy, dále z Jeseníků, Českého lesa a okolí Olomouce (Liška et al., 1996). Potvrzené recentní nálezy *Cetraria sepincola* jsou již ze Šumavy a z Brd. Zajímavé je, že tento druh nebyl v minulosti na Příbramsku nikdy zaznamenán (Malíček, 2013; AOPK, 2020; Malíček et. al, 2020). *Menegazzia terebrata*, která preferuje staré bučiny ve vyšších polohách, vymizela z Beskyd a dalších pohoří ČR (Liška et al., 1996). Recentní záznamy o výskytu *M. terebrata* jsou pouze z Novohradských hor a Šumavy (viz obr. č. 8) (AOPK, 2020).

Z horských oblastí na severu ČR, zejména z Krkonoš, ustoupily zástupci rodu *Nephroma*: *N. parile*, *N. bellum* a *N. resupinatum*. Tito zástupci se vyskytují především v bezzásahových oblastech pralesních porostů ČR. Jejich preferovaný substrát jsou opadavé stromy, *N. bellum* se může výjimečně vyskytovat i na jehličnatých stromech. Všechny tyto druhy byly zaznamenány na Šumavě v letech 1994-1996 a byly označeny jako ohrožené po celé Evropě. *Nephroma parile* a *N. bellum* byly v této době označeny za neschopné kolonizovat nové substráty (Liška et al., 1996). Zajímavý nález *N. parile* byl v roce 2001 učiněn na Králickém Sněžníku, kde nebyl do té doby nikdy zaznamenán (viz

obr. č. 8) (Halda, 2006). Aktuální potvrzený výskyt tohoto druhu je stejně jako u *Nephroma bellum* pouze ze Šumavy (AOPK, 2020).

Další druh, který vymizel ze severu Čech, je *Sphaerophorus globosus* (viz obr. č. 9). Tento oceánický druh u nás vyhledával jak horské oblasti s jedlemi, tak i hluboká údolí s bučinami. Nálezy z let 1992-1994 byly zaznamenány pouze na Šumavě (Liška et al., 1996). Tento druh byl později, v letech 2011 a 2015, objeven i v Jeseníkách (viz obr. č. 8) (AOPK, 2020; Malíček et. al, 2020).



Obr. č. 8 Změny epifytických lišejníků na území České republiky. a) *Nephroma parile* b) *Cetraria sepincola* c) *Menegazzia terebrata* d) *Sphaerophorus globosus*. Prázdné malé kroužky značí nálezy do roku 1949, barevná kolečka nálezy v letech 1950-2009 a tučné velké kroužky označují nálezy po r. 2010 Zdroj: (AOPK, 2020)

Jeden z celosvětově nejcitlivějších epifytických makrolišejníků je *Usnea longissima*. Tento druh je téměř nezaměnitelný s ostatními zástupci rodu *Usnea* (viz obr. č. 9) a díky tomu mohou být považována historická data o jeho nálezech za spolehlivá. Snižující se četnost výskytu *U. longissima* byla popsána v severní Evropě již na začátku 20. století. Tento brzký ústup je připisován především specializované ekologické nise tohoto druhu a vysoké citlivosti na znečištění ovzduší. *Usnea longissima* se vyskytuje především na starých smrcích v pralesovitých porostech a není schopná osídlit nové,

uměle vysázené lesy. Vyžaduje též specifické světelné a vlhkostní podmínky (Esseen et al., 1981). Na našem území jsou poslední záznamy o nalezení tohoto druhu ze Šumavy z roku 1930. Literární zdroje, na které odkazuje Liška et al. (1998b), ukazují, že byl dříve objeven dokonce i v Krkonoších, v Orlických horách a na Králickém Sněžníku. Jedná se však o záznamy staré téměř 150 let.

I epifytické mikrolišejníky jako *Lopadium disciforme* a *Normandina pulchella* ustoupily. Oba tyto druhy bývaly na začátku 20. století běžné. *Normandina pulchella* byla dokonce v tomto období označena za šířící se druh. Tento převážně epifytický druh, který se však může vyskytovat i saxikolně, je dnes celoevropsky ohroženým druhem. V roce 1996 byly známy pouze dvě lokality jeho výskytu (Šumava a Kremžské hadce) (Liška et al., 1998b). Recentní nálezy jsou z několika jednotlivých lokalit. Ty však nenaznačují případné šíření druhu (Malíček et al., 2020). *Lopadium disciforme* je acidofilní druh vyhledávající především smrkové pralesní porosty (viz obr. č. 9). Vyskytovat se může i na bucích nebo olších. Tento druh byl na začátku 20. století běžný v šumavských lesích, dále se vyskytoval na Žďárských vrších a ve Slavkovském lese. Starší záznamy o nálezech z roku 1995 a 1997 jsou pouze ze Šumavy (Liška et al., 1998b). Nejnovější lokality výskytu potvrzují jeho hojnou populaci na Šumavě a jednotlivý výskyt v Beskydech (Malíček et al., 2020).

Za další ohrožené a vzácné druhy, jež ustoupily z České republiky, jsou označeny: *Parmelina pastillifera*, *P. quercina*, *P. tiliacea*, *Sclerophora pallida*. Všechny tyto druhy jsou opět velice citlivé ke zvýšené úrovni znečištění ovzduší a recentně se vyskytují v oblastech bez výrazných změn v lesním hospodaření a s nízkým znečištěním. (Liška et al., 2006). Výskyt dříve běžné *Parmelina tiliacea* tolerující mírně až středně eutrofizované prostředí poklesl především v severních a středních Čechách a nížinných oblastech (Liška et al., 2006). Recentní nálezy vykazují orientaci tohoto druhu na západ ČR a do Bílých Karpat (Malíček et al., 2020).

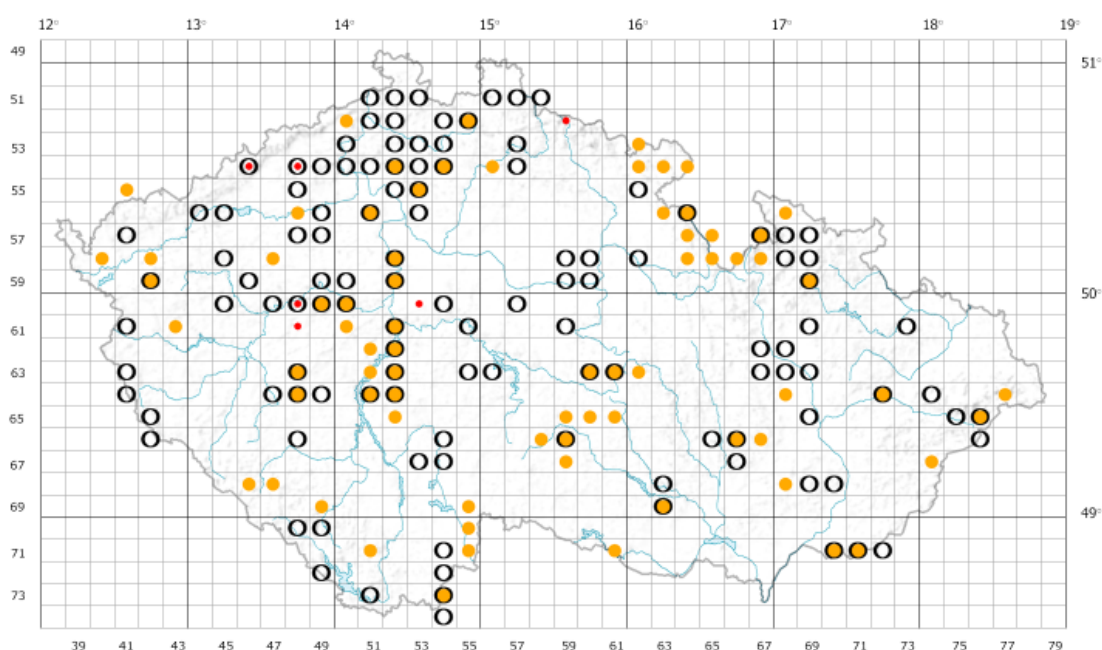


Obr. č. 9 Ubývající druhy lišejníků a) *Lobaria pulmonaria*, b) *Lopadium disciforme*, c) *Usnea longissima*, d) *Sphaerophorus globosus* Zdroj: (AOPK, 2020; Malíček et al., 2020)

2.2 Rozšiřující se druhy

I přes veškeré environmentální změny v ČR se některé lišejníky rozšířily. Kyselé deště hrály zásadní roli, kdy jejich vlivem došlo k uvolnění ekologických nik například v horských oblastech, čehož mohly některé druhy využít. Nitrofilní druhy podpořila i eutrofizace, která je čím dál rozšířenější především v nížinných polohách. Mezi druhy, které byly již v roce 1994 prohlášeny za rozšiřující se nebo běžné, patří *Lecanora conizaoides*, *Hypocenomyce scalaris*, *Scoliciosporum chlorococcum*, *Xanthoria parietina*, *Amandinea punctata* (*Buellia punctata*), *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Xanthoria polycarpa*, *Candelariella efflorescens* agg. a *Parmelia sulcata*. Příkladem nitrofilního druhu, jehož rozšíření je vázané primárně do kontinentálních oblastí, je *Physcia aipoloides* (Lisická et al., 2008; Liška, 2012). Tento kontinentální lišejník se na našem území rozšířil v oblastech jižní Moravy již koncem 20. století. Acidofilními a vysoce tolerantními druhy ke znečištění ovzduší jsou *Lecanora conizaoides*, *H. scalaris*, *S. chlorococcum*. Rozšíření těchto acidofilních lišejníků a lišejníků vysoce tolerantních ke znečištění ovzduší bylo pravděpodobně podpořeno vlivem kyselých dešťů (Liška 1994; Liška and Herben, 2008).

Lecanora conizeaoides je velmi acidofilní druh. Téměř žádný jiný lišejník se nedokáže vyskytovat na tak kyselém substrátu v kombinaci s vysokými hodnotami SO₂ (LaGreca and Stutzman, 2006). Rozvoj *L. conizeaoides* na našem území začal až po roce 1950 (viz obr. č. 10), kdy zde byly první záznamy o jeho nálezů. Díky jeho masivnímu šíření byl označen za běžný již v roce 1994. Tento mikrolíšejník je dnes rozšířen téměř po celém území ČR, avšak recentní zdroje ukazují na pomalý ústup ze severozápadu Čech (Liška 1994; Liška, 2012; AOPK, 2020). Je pravděpodobné že bude *L. conizeaoides* v budoucnu ubývat kvůli vymizení jí vyhledávaného acidifikovaného substrátu (Malíček et al., 2020).



Obr. č. 10 Změny rozšíření *Lecanora conizeaoides* na území České republiky. Barevná kolečka značí nálezy v letech 1950-2009 a tučné velké kroužky označují nálezy po r. 2010 Zdroj: (AOPK, 2020)

Dnes běžným druhem, který vyhledává jehličnaté stromy, především smrky, je *Hypocenomyce scalaris*. Jeho ekologie je velice podobná druhu *Lecanora conizeaoides*. Je též acidofilním druhem tolerantním ke znečištění ovzduší (Liška, 2012). Jeho aktuální rozšíření je téměř po celé republice. Ačkoliv se jedná spíše o boreální druh, vyskytuje se u nás i v nížinných oblastech (Timdal, 1984; AOPK, 2020).

Xanthoria parietina, *Amandinea punctata* (*Buellia punctata*), *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Xanthoria polycarpa*, *Candelariella efflorescens* agg. a *Parmelia sulcata* jsou nitrofilní druhy tolerantní k eutrofizaci a vyžadují často substrát s vysokým pH. Díky těmto vlastnostem je můžeme považovat za indikátory vysokého množství dostupného NH₃ (Liška, 2012; van Herk, 2001). *Xanthoria parietina* je velmi

toxitolerantním lišejníkem, biogeograficky orientovaným spíše do oceánických, temperátních oblastí, na rozdíl od *Xanthoria polycarpa* vyhledávající spíše boreální oblasti. Oba tyto druhy se mohou vyskytovat i saxikolně, převážná část záznamů je však z forofytů s vyšším pH borky (Lindblom, 1997; Malíček 2020). K rozšíření obou druhů pravděpodobně přispěla eutrofizace v nížinných oblastech. Zlepšení ovzduší a nižší spád kyselých dešťů v nejzasazenějších oblastech ČR napomohlo též rozšíření těchto druhů. Například v Krušných horách, kde se tyto druhy v období nejsilnějšího působení kyselých dešťů téměř nevyskytovaly. Již v roce 1994 byly oba druhy považovány za běžné (Liška, 1994). I přes rozdíly areálových preferencí jsou oba tyto druhy rozšířené téměř po celé České republice. Přes to, že aktuální záznamy napovídají určité areálové rozdíly *X. parietina* a *X. polycarpa* jsou oba tyto druhy rozšířené téměř po celé České republice s výjimkou našich nejvyšších poloh (AOPK, 2020; Malíček et al., 2020).



Obr. č. 11 a) *Lecanora conizeaoides*, b) *Xanthoria parietina*. Zdroj: (Malíček et al., 2020)

Hyperphyscia adglutinata je nitrofilní druh, který se do roku 1950 se na našem území běžně vyskytoval. Z období první poloviny 20. stol. jsou poměrně četné záznamy o jeho nálezech. Po roce 1950 však tento lišejník začal velmi rapidně ubývat a byl označen za lišejník, který zřejmě vymizí v ČR (Liška et al., 1996). Úbytek tohoto druhu byl pravděpodobně zapříčiněn snížením pH substrátu, na kterém se vyskytuje. Zvýšená dostupnost živin, která zaujímá významnou pozici ve zvýhodňování nitrofilních druhů, podpořila recentně opětovné rozšíření i druhu *Hyperphyscia adglutinata* v údolí řek na jihu České republiky (Vondrák and Liška, 2010). Nedávné rozšíření tohoto druhu bylo zaznamenáno i v dalších Evropských státech. Tento lišejník je v ČR stále označen jako ohrožený druh. Na základě jeho rozšíření i v okolních státech je pravděpodobné, že se bude tento druh i nadále šířit i na našem území (Vondrák and Liška, 2010). Nejnovější výskyt tohoto druhu byl zaznamenán v okolí středních Čech, na jihu Moravy a v Lužických horách (AOPK, 2020).

Velice zajímavý lišejník, který nebyl ve výše uvedeném výčtu druhů zmíněn, je *Nephromopsis laureri*. Tento makrolišejník byl v minulosti označován za velmi vzácný. Jeho nálezy byly pouze ze Šumavy a od Rakovníka. Období silných kyselých dešťů způsobilo uvolnění nik a po poklesu jejich intenzity se tento druh začal šířit. Od roku 2009 je zaznamenáno několik nových lokalit (Malíček and Palice, 2013; Steinová et al., 2013; Malíček 2020).

2.3 Změny substrátových preferencí

Zajímavým, recentně popisovaným jevem je změna substrátové preference určitých druhů. Příkladem takové změny jsou druhy *Hyperphyscia adglutinata*, *Evernia divaricata*, *Lecanora pulicaris* nebo *Biatora fallax*. *Hyperphyscia adglutinata*, která se v minulosti vyskytovala především jako epifytický rostoucí lišejník, byla recentně zaznamenána i na vhodných skalnatých substrátech. Je možné, že se tento lišejník na našem území vyskytoval saxikolně i dříve. Jelikož se v minulosti jednalo primárně o epifytický lišejník, nebyl pravděpodobně na skalnatém substrátu vyhledáván. Na našem území v období nejsilnějších kyselých dešťů mohlo vymizet především jeho epifytické zastoupení. Recentní rozšíření pravděpodobně proběhlo z přeživších saxikolních společenstev (Malíček and Syrovátková, 2015; Vondrák and Liška, 2010).

Evernia divaricata se dříve vyskytovala především na jehličnanech, kdežto recentní záznamy jsou spíše ze stromů listnatých. Jehličnaté stromy mají obecně nižší pH borky, než listnaté a tento druh vyhledává nižší pH pro svůj výskyt. V průběhu let kvůli silné acidifikaci došlo k přílišnému snížení pH borky jehličnatých stromů. Tím se vysvětluje přesun *Evernia divaricata* na borku listnatých stromů (Liška et al., 1996)

K podobnému úkazu došlo také u *Lecanora pulicaris*. Dřívější záznamy naznačovaly, že se jedná o acidofilní druh vyhledávající kyselou borku stromů. Nálezy po roce 1970 jsou uváděny spíše z listnatých forofytů s mírně kyselým až subneutrálním pH. Malíček (2014) charakterizuje tento přesun spíše jako obsazení volných ekologických nik.

Přesun z jehličnatých stromů na listnaté byl popsán i u rodu *Biatora*, který se vyhýbá eutrofizovaným oblastem. Dva jeho zástupci *B. helvola* a *B. ocelliformis*, kteří se typicky vyskytují ve smíšených až jehličnatých lesích, byli recentně zaznamenány spíše na listnatých stromech, např. *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica* nebo *Sorbus aucuparia*. Starší německé záznamy těchto druhů jsou udávány zejména ze smrkových lesů. Na našem území došlo k přesunu *B. fallax* na *Fagus sylvatica* a další opadavé stromy. Tento přesun je zapříčiněn pravděpodobně vyžadováním specifických substrátových

vlastností pro správný růst a vývoj lišejníku. Je tedy pravděpodobné, že epifytické lišejníky vyhledávají spíše než konkrétní forofyt specifické vlastnosti jeho borky (Printzen and Palice, 1999; Malíček et al., 2020).

2.4 Proces rekolonizace

Rekolonizace je proces opětovné kolonizace, při kterém dochází ke znovuosídlení lokalit, které byly natolik zásadně zasažené nehostinnými vlivy, že došlo ke způsobení tzv. lišejníkových pouští. Aby mohlo dojít k rekolonizaci území, je třeba určité disturbance neboli narušení stávajícího biotopu, které uvolní ekologickou niku. Především intenzita kyselých dešťů a emisí nežádoucích plynů v ovzduší na našem území způsobila, že některé substráty začaly být pro lišejníky natolik nevhodné, že došlo k jejich vymizení a tím i uvolnění ekologické niky. Po ústupu nejsilnějších nehostinných vlivů může dojít ke zlepšení situace a dříve zasažené lokality mohou být znovu osídleny (Hawksworth and Rose, 1970; Malíček and Syrovátková, 2015).

Šíření pionýrských druhů lišejníků je pro proces rekolonizace typické. Reakce na lepší stav však nepřicházejí okamžitě, nýbrž s prodlevou zhruba 5-10 let (Henderson-Sellers and Seaward, 1979; Rose and Hawksworth, 1981). Druhové složení, jež se po zlepšení stavu skládá převážně z pionýrských druhů, se může s přibývajícími lety zásadně změnit následnou konkurencí druhů (Lange et al., 2005). Za rekolonizátory našeho území jsou označeny například druhy *Evernia divaricata*, *E. mesomorpha*, *Hypogymnia bitteri*, *Nephromopsis laureri* a *Usnea* spp. (Palice, 2017; Steinová et al., 2013). *Evernia mesomorpha* se v České republice vyskytovala jako epifyt pouze na borce *Pinus sylvestris* a v minulosti byla Liškou et al., (1996) označena za vyhynulou kvůli vysoké citlivosti ke znečištění ovzduší a kyselým dešťům. Díky schopnosti rychlé rekolonizace oblastí, kde dojde ke zlepšení situace, byl tento lišejník téměř o deset let později v ČR opět nalezen. I přesto, že byla *E. mesomorpha* zaznamenána v roce 2017 hned na 17 lokalitách, především na modříních a křovinách (*Prunus spinosa*), je stále označena za ohrožený druh (Gunn et al., 1995; Šoun et al., 2017). Je zajímavé, že většina druhů, které rekolonizovaly naše území se vyskytuje převážně na modříních, trnkách a hlozích (*Larix decidua*, *Prunus spinosa*, *Crataegus* sp.) (Malíček et al., 2020).

Velmi zajímavým úkazem rekolonizace mimo Českou republiku je nález *Usnea mutabilis* ve městě New York. Jedná se o jedinou malou stélku bez apothecií. Tento rod byl v New Yorku naposledy zaznamenán v roce 1824 (Dorey et al., 2019).

3 Recentní vývoj lichenoflóry v Evropě

I přes významné zlepšení čistoty ovzduší v celé Evropě je pravděpodobné, že i v budoucnu dojde k proměně lišejníkových společenstev a jejich druhové skladby. Ačkoliv míra kyselých dešťů ve střední Evropě v minulosti dalece překračovala jejich aktuální intenzitu, je jejich dopad stále lokálně znatelný. Způsobená acidifikace se stále podepisuje na distribuci některých společenstev. Přestože kyselé deště v určité míře přetrvaly dodnes, mezi důležité faktory ovlivňující nedávný vývoj patří spíše zvyšující se dostupnost živin, pomalý nárůst průměrných ročních teplot se zvyšujícím se počtem dnů s extrémní teplotou a snižující se množství srážek (Hauck et al., 2013; Munzi et al., 2019).

Faktory, které recentně nejvíce ovlivnily druhové složení epifytické lichenoflóry se lišily v různých oblastech Evropy. V západní Evropě se jedná například o intenzivní zemědělství, kvůli kterému se do okolí dostává nadbytek živin a dusíku. V Nizozemí například došlo již po roce 2000 k zásadnímu úbytku acidofilního druhu *Lecanora conizaeoides*, který se vyhýbá eutrofizovanému prostředí. Následkem silné eutrofizace v Nizozemí došlo recentně k rozšíření mnoha nitrofilních druhů (Aptroot et al., 2017). Dalším důležitým faktorem je dle studie Aptroot and van Herk, (2007) i globální oteplování. U několika studovaných druhů, jež se vyskytují primárně v teplých subtropických oblastech, byl jejich nález do roku 1900 na území Nizozemí vzácný. Například *Flavoparmelia soledians*, která se v Nizozemí v letech 1900–1987 vůbec nevyskytovala, zaznamenala v posledních letech výrazný nárůst svého výskytu. Dnes je běžným druhem po celém Nizozemí. Dalším druhem, jenž se rozšířil v poslední době, je *Punctelia borrieri*. Tento druh je stejně jako *Flavoparmelia soledians* teplomilný a odolný vůči suchu. Dřívější nárůst výskytu *Punctelia borrieri* však Spier and Herk (1997) připisují spíš snížení úrovně SO₂. Recentně se oba tyto druhy rozšířily i do ČR (Šoun et al. 2017).

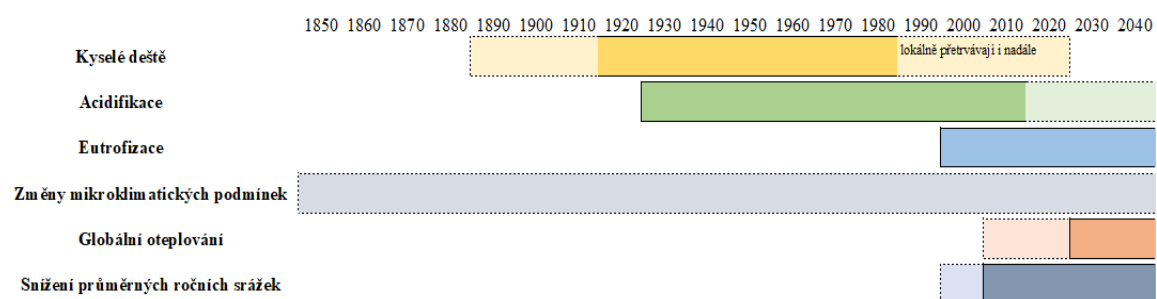
V severozápadní Evropě byl též studován vliv globálního oteplování, který však nebyl označen za hlavní faktor ovlivňující recentní druhové složení lišejníků. Úbytek epifytických montánních a arko-alpínských druhů lišejníků horských lesů je připisován, spíše než zvyšující se průměrné roční teplotě, emisím SO₂ v minulosti a zvýšenému množství dostupných živin. Konkrétní ústup byl pozorován například u druhů *Cetraria sepincola*, *Hypogymnia vittata*, *Alectoria sarmentosa*. Zajímavé je, že epifytické lišejníky nebyly nejzasazenější skupinou. Daleko více než epifytické druhy ubyly terikolní a saxikolní lišejníky. K podpoření rozšíření došlo naopak u temperátních druhů epifytických lišejníků. Jelikož většina temperátních druhů je řazena mezi nitrofilní druhy,

je jejich recentní rozšíření vysvětlováno spíše rostoucí dostupností dusíkatých látek (Hauck, 2009).

Recentní vývoj epifytické lichenoflóry byl ve střední Evropě velmi obdobný jako na našem území. Časový vývoj hlavních vlivů, které ovlivnily druhové složení epifytické lichenoflóry lze pozorovat na časové ose (viz obr. č. 12). Velmi recentní článek od kolektivu autorů Łubek et al., (2018) pojednává o zvýšení druhové diverzity v Bělověžském pralese. K největšímu rozvoji lichenoflóry došlo především v jehličnatých částech lesa a zároveň došlo k nárůstu výskytu nitrofilních společenstev. Ačkoliv došlo k 5% snížení průměrných ročních srážek mezi lety 1986-2007, nebyl prokázán přímý vliv tohoto snížení na lichenoflóru. Tento výsledek je vysvětlen především schopností pralesů udržet určité mikroklimatické podmínky včetně vlhkosti. Jako nejvýznamnější faktory, které ovlivnily lichenoflóru byly označena acidifikace, eutrofizace a regenerace lesního ekosystému, který byl z větší části po posledních sto let ponechán bez významnějších antropogenních zásahů.

Epifytická lichenoflóra jižní Evropy s předpokládanou budoucí změnou klimatu projde pravděpodobně též proměnou. V mediteránních oblastech dojde spíše než k poklesu diverzity lišejníků k biogeografickým přesunům. K distribučním změnám může dojít v důsledku vyhledávání stejných ekologických parametrů pro svůj růst a vývoj. Na základě environmentálních změn se předpokládají zásadní změny mikroklimatických podmínek biotopů, které poskytují lišejníkům vhodné podmínky pro život. Snížení vlhkosti a zvýšení teploty může být například v biotopech, jako jsou horské lesy, pro mnoho druhů zcela zásadní. Mezi nejohroženější epifytické skupiny lišejníků budou patřit druhy se symbiotickou sinicí a chladnomilné, vlhkomilné druhy. Zároveň další skupinou, označenou jako ohrožená, jsou terikolní druhy (Rubio-Salcedo et al., 2017).

Časová osa vývoje zásadních vlivů na epifytické lišejníky



Obr. č. 12 Časová osa zásadních vlivů na epifytickou lichenoflóru. Tečkovaná čára značí nižší intenzitu daného vlivu. Plná čára značí vysokou intenzitu daného vlivu. Mezi mikroklimatické podmínky je řazeno i lesnictví. Zdroj: vlastní práce

4 Závěr

Druhové složení lichenoflóry v průběhu posledních více než sta let prošlo významnou změnou. Vlivy emisí SO_2 , NO_x a následné kyselé deště byly označeny za hlavní důvod vymizení většiny citlivých druhů z našeho území. Vývoj emisí SO_2 v České republice dosáhl svého maxima v 80. letech 20. století (viz obr. 12). Důsledkem snížení pH srážek, a i následnou acidifikací borky forofytů došlo k ústupu nejcitlivějších lišejníků prakticky z celého území ČR. Především z území Krušných hor, které bylo jednou z nejzasaženějších oblastí kyselými dešti, ustoupily téměř všechny druhy lišejníků včetně velmi tolerantních druhů k acidifikaci i znečištění ovzduší. Některé druhy reagovaly přesunem na jiný druh forofytů za účelem hledání stejných substrátových vlastností. Zároveň došlo k uvolnění ekologických nik, které byly obsazeny expandujícími acidofilními společenstvy. Druhové složení lišejníků se však měnilo i nadále. Po snížení množství emitované síry do ovzduší převzal úlohu největšího hybatele dusík. Eutrofizace a zvýšená dostupnost živin podpořila především nitrofilní společenstva na většině území ČR.

Díky odsíření velkých elektráren a plynofikaci mohlo dojít k významnému snížení jak SO_2 , tak NO_x . Zlepšení ovzduší v ČR tak znamenalo pro některé citlivé makrolišejníky zlepšení životních podmínek a mohly se tak rozšířit nejen z jejich posledních známých lokalit, zejména ze Šumavy, která skýtá pro mnohé lišejníky poslední velmi cenné refugium, ale i z okolních států a lokalit, které nebyly natolik zasaženy. Budoucí vývoj lichenoflóry bude ovlivněn i dalšími faktory, zejména rostoucí průměrnou roční teplotou a poklesem množství srážek. Následkem těchto změn se předpokládá i úbytek vhodných biotopů. Předpokládaný rozvoj zaznamenají především teplomilné druhy s nižšími nároky na vlhkost, kdežto nejohroženější skupinou jsou kromě epifytických suboceanických lišejníků, vyhledávajících především horské oblasti s vysokou vzdušnou vlhkostí, také terikolní lišejníky. Ty jsou zpravidla vázané na lokality s nízkou konkurencí cévnatých rostlin. Pokud tedy dojde ke zlepšení životních podmínek pro cévnaté rostliny např. v horské tundře, jsou terikolní lišejníky ohroženy zarůstáním jejich biotopů.

Epifytické lišejníky byly a jsou stále ohroženy i přímým antropogenním vlivem na mikroklimatické podmínky, především intenzivním lesním hospodařením. Lišejníky vázané na staré lesy a tlející kmeny stromů mohou být velice ohroženy těžbou dřeva, odstraňováním starých porostů a holosečemi. Vliv závislosti změn řízení lesního hospodaření a jeho dopady na lichenoflóru nejsou dostatečně analyzovány. Návazná

magisterská práce by mohla oblast zmíněné problematiky důkladněji prozkoumat. Na základě pochopení vlivů lesnictví na epifytickou lichenofloru by mohlo dojít k lepšímu hospodaření s lesními pozemky a k jejich lepší údržbě. Stejným způsobem by mohlo na základě pochopení změn ve složení společenstev lišejníků dojít k šetrnějšímu managementu krajiny tak, aby byla podpořena celková biodiverzita.

Seznam použité literatury

- AOPK, 2020: Portál informačního systému ochrany přírody NDOP. – portal.nature.cz [27. 7. 2020].
- Aptroot, A., 2009. Chapter 23 - Lichens as an Indicator of Climate and Global Change. In: Letcher, T.M. (eds.), *Climate Change*. Elsevier, Amsterdam, pp. 401–408.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53301-2.00023-3>
- Aptroot, A., Herk, K., Sparrius, L., 2017. Twenty-two Years of Monitoring the Lichen Flora of Megalithic Monuments in the Netherlands. *Herzogia* 30, 483–495.
<https://doi.org/10.13158/heia.30.2.2017.483>
- Aptroot, A., van Herk, C.M. 2007. Further evidence of the effects of global warming on lichens, particularly those with *Trentepohlia* phycobionts. *Environmental Pollution* 146, 293–298.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.018>
- Aude, E., Poulsen, R.S., 2000. Influence of management on the species composition of epiphytic cryptogams in Danish Fagus forests. *Applied Vegetation Science* 3, 81–88.
<https://doi.org/10.2307/1478921>
- Beckett, P.J., 1995. Lichens: Sensitive Indicators of Improving Air Quality. In: Gunn, J.M. (eds.), *Restoration and Recovery of an Industrial Region*. Springer Series on Environmental Management. Springer, New York, NY, pp. 81–91.
https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2520-1_6
- Beláková, K., Machálek, P., Šmejdiřová, J., 2019. II Znečiřování ovzduří. In: ČHMÚ (eds.), *Znečiřování ovzduří na území České republiky 2018*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, pp. 26–39.
ISBN 978-80-87577-95-0
- Bhargava, S., 2013. Ecological consequences of The Acid rain. *IOSR-JAC* 5, 19–24.
<https://doi.org/10.9790/5736-0541924>
- Boch, S., Prati, D., Hessenmöller, D., Schulze, E.-D., Fischer, M., 2013. Richness of Lichen Species, Especially of Threatened Ones, Is Promoted by Management Methods Furthering Stand Continuity. *PLOS ONE* 8, 1–9.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055461>
- Brzezina, J., Holubová Šmejkalová, A., Horálek, J., Hůnová, I., Krejčí, B., Plachá, H., 2019. IV Kvalita ovzduří v České republice – oxid siřičitý, In: ČHMÚ (eds.), *Znečiřování ovzduří na území České republiky 2018*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, pp. 49–145.
ISBN 978-80-87577-95-0
- Český statistický úřad, 2020. Veřejná databáze.
<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf> [24. 5. 2020].
- Český úřad zeměměřický a katastrální, 2020. Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky, Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.
ISBN 978-80-88197-15-7
- Coxson, D.S., Stevenson, S.K., 2007. Growth rate responses of *Lobaria pulmonaria* to canopy structure in even-aged and old-growth cedar–hemlock forests of central-interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Management* 242, 5–16.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.031>
- Cullis, C.F., Hirschler, M.M., 1980. Atmospheric sulphur: Natural and man-made sources. *Atmospheric Environment* (1967) 14, 1263–1278.
[https://doi.org/10.1016/0004-6981\(80\)90228-0](https://doi.org/10.1016/0004-6981(80)90228-0)

- Delmas, R., Serca, D., Jambert, C., 1997. Global inventory of NO_x sources. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 48, 51–60.
- Dorey, J.E., Hoffman, J.R., Martino, J.L., Lendemer, J.C., Allen, J.L., 2019. First Record of *Usnea* (Parmeliaceae) Growing in New York City in Nearly 200 Years. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 146, 69–77.
<https://doi.org/10.3159/TORREY-D-18-00029.1>
- Ellis, C.J., 2019. Climate Change, Bioclimatic Models and the Risk to Lichen Diversity. *Diversity* 11, 54.
<https://doi.org/10.3390/d11040054>
- Esseen, P.A., Ericson, L., Lindström, H., Zackrisson, O., 1981. Occurrence and Ecology of *Usnea longissima* in Central Sweden. *The Lichenologist* 13, 177–190.
<https://doi.org/10.1017/S0024282981000224>
- Fritz-Sheridan, R.P., 1985. Impact of Simulated Acid Rains on Nitrogenase Activity in *Peltigera aphthosa* and *P. polydactyla*. *The Lichenologist* 17, 27–31.
<https://doi.org/10.1017/S0024282985000044>
- Galloway, J.N., Likens, G.E., Keene, W.C., Miller, J.M., 1982. The composition of precipitation in remote areas of the world. *Journal of Geophysical Research* 87, 8771–8786. <https://doi.org/10.1029/JC087iC11p08771>
- Gilbert, O.L., 1986. Field evidence for an acid rain effect on lichens. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological* 40, 227–231.
[https://doi.org/10.1016/0143-1471\(86\)90097-8](https://doi.org/10.1016/0143-1471(86)90097-8)
- Gunn, J., Keller, W., Negusanti, J., Potvin, R., Beckett, P., Winterhalder, K., 1995. Ecosystem recovery after emission reductions: Sudbury, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution* 85, 1783–1788.
<https://doi.org/10.1007/BF00477238>
- Halda J.P., 2006. Interesting lichen records from Králický Sněžník Mts. (Glatzer Schneeberg, Czech Republic). In: Lackovičová A., Guttová A., Lisická E. & Lizoň P. (eds.), *Central European lichens – diversity and threat*, Mycotaxon Ltd., Ithaca, pp. 315–324.
ISBN 978-0-930845-15-5
- Hallingbäck, T., Kellner, O., 1992. Effects of simulated nitrogen rich and acid rain on the nitrogen-fixing lichen *Peltigera aphthosa* (L.) Willd. *New Phytologist* 120, 99–103.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01062.x>
- Hauck, M., 2009. Global warming and alternative causes of decline in arctic-alpine and boreal-montane lichens in North-Western Central Europe. *Global Change Biology* 15, 2653–2661. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01968.x>
- Hauck, M., 2008. Susceptibility to acidic precipitation contributes to the decline of the terricolous lichens *Cetraria aculeata* and *Cetraria islandica* in central Europe. *Environmental Pollution* 152, 731–735.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.046>
- Hauck, M., de Bruyn, U., Leuschner, C., 2013. Dramatic diversity losses in epiphytic lichens in temperate broad-leaved forests during the last 150 years. *Biological Conservation* 157, 136–145.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.015>
- Hawksworth, D.L., Rose, C.I., 1970. Qualitative Scale for estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. *Nature* 227, 145–148

- Henderson-Sellers, A., Seaward, M.R.D., 1979. Monitoring lichen reinvasion of ameliorating environments. *Environmental Pollution* 19, 207–213.
[https://doi.org/10.1016/0013-9327\(79\)90042-9](https://doi.org/10.1016/0013-9327(79)90042-9)
- Hruška, J., Česká geologická služba, Kopáček, J., Hydrobiologický ústav AV ČR, 2005. Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. *Planeta* 5, 4–23.
- Hruška, J., Kopáček, J., 2009. Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I. Emise a depozice okyselujících sloučenin. *Živa* 2, 93–96.
- Hutchinson, T.C., Dixon, M., Scott, M., 1986. The effect of simulated acid rain on feather mosses and lichens of the boreal forest. *Water, Air, & Soil Pollution* 31, 409–416.
<https://doi.org/10.1007/BF00630858>
- Fürstová, J., 2006. Regulace cen před liberalizací a po ní. In: Klaus, V., Dlouhý, V., Dyba, K., Tříška, D., Čalfa, M., Kočárník, I., Fürstová, J., Šíp, E., Weigl, J. (eds.), *Patnáct let od obnovení kapitalismu v naší zemi*, Centrum pro ekonomiku a politiku, Praha, pp. nečíslováno.
ISBN 978-80-887806-84-5
- Kočí, V., Burkhard, J., Maršálek, B., 2000. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. *Eutrofizace 2000*, VŠCHT, Praha, pp. 3–13.
- LaGreca, S., Stutzman, B.W., 2006. Distribution and ecology of *Lecanora conizaeoides* (Lecanoraceae) in eastern Massachusetts. *The Bryologist* 109, 335–347.
[https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2006\)109\[335:DAEOLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2006)109[335:DAEOLC]2.0.CO;2)
- Lange, O.L., Türk, R., Zimmermann, D.G., 2005. Neufunde der boreal-montanen Flechte *Evernia divaricata* im trocken-warmen Main-Tauber-Gebiet und ihre Begleiter. *Herzogia* 18, 51–62.
- Lenoch, J., 2014. Dějiny lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu. Učební texty, Mendelova univerzita, Brno.
- Lindblom, L., 1997. The genus *Xanthoria* (Fr.) Th.Fr. in North America. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 83, 75–172.
- Lisická, E., Lackovičová, A., Liška, J., Lököš, L., Lisický, M.J., 2008. *Physcia aipolioides* - ein Beispiel einer invasiven Flechte oder einer unterschätzten Verbreitung? *Sauteria* 15, 303–318.
- Liška J., 1994 Bioindikace znečištění ovzduší v České republice pomocí lišejníků. *Příroda* 1, 7–21.
- Liška, J., 2012. Lichen flora of the Czech Republic. *Preslia* 84, 851–862.
- Liška, J., Dětinský, R., Palice, Z., 1998a. A project on distribution changes of lichens in the Czech republic. *Sauteria* 9, 351–360.
- Liška, J., Dětinský, R., Palice, Z., 1996. Importance of the Šumava Mts. for the biodiversity of lichens in the Czech Republic. *Silva Gabreta* 1, 71–81.
- Liška, J., Herben, T., 2008. Long-term changes of epiphytic lichen species composition over landscape gradients: an 18 year time series. *The Lichenologist* 40, 437–448.
<https://doi.org/10.1017/S0024282908006610>
- Liška, J., Palice, Z., 2010. Červený seznam lišejníků České republiky. *Příroda*, Praha 29, 3–66.
- Liška, J., Palice, Z., Dětinský, R., 1998b. Změny v rozšíření vzácných a ohrožených lišejníků v České republice I. *Příroda*, Praha 12, 131–144.
- Liška, J., Palice, Z., Dětinský, R., Vondrák, J., 2006. Changes in distribution of rare and threatened lichens in the Czech Republic II. In: Lackovičová A., Guttová A., Lisická E. & Lizoň P. (eds.), *Central European lichens – diversity and threat*, Mycotaxon Ltd., Ithaca, pp. 241–258.

ISBN 978-0-930845-15-5

- Lücking, R., 1997. The use of foliicolous lichens as bioindicators in the tropics, with special reference to the microclimate. *Abstracta Botanica* 21, 99–116.
- Łubek, A., Kukwa, M., Jaroszewicz, B., Czortek, P., 2018. Changes in the epiphytic lichen biota of Białowieża Primeval Forest are not explained by climate warming. *Science of The Total Environment* 643, 468–478.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.222>
- Malíček, J., 2014. A revision of the epiphytic species of the *Lecanora subfusca* group (Lecanoraceae, Ascomycota) in the Czech Republic. *The Lichenologist* 46, 489–513.
<https://doi.org/10.1017/S0024282914000139>
- Malíček, J., 2013. Interesting records of lichens in the Brdy Mts (Czech Republic). *Erica* (Plzeň) 20, 67–101.
- Malíček, J., Syrovátková, L., 2015. Kde přežít v těžkých časech? Refugia epifytických lišejníků. *Živa* 2, 59–61.
- Malíček, J., Palice, Z., 2013. Lichens of the Virgin Forest Reserve Žofínský Prales (Czech Republic) and Surrounding Woodlands. *Herzogia* 26, 253–292.
<https://doi.org/10.13158/heia.26.2.2013.253>
- Malíček, J., Palice, Z., Vondrák, J., Kostovčík, M., Lenzová, V., Hofmeister, J., 2019. Lichens in old-growth and managed mountain spruce forests in the Czech Republic: assessment of biodiversity, functional traits and bioindicators. *Biodiversity and Conservation* 28, 3497–3528.
<https://doi.org/10.1007/s10531-019-01834-4>
- Malíček J., Palice Z., Vondrák J. & Novotný P. (2020): Atlas českých lišejníků. – dalib.cz [25. 7. 2020].
- Matlack, G.R., 1993. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. *Biological Conservation* 66, 185–194.
[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(93\)90004-K](https://doi.org/10.1016/0006-3207(93)90004-K)
- Mácová M., 2019. Od boje o zrno k největším zemědělským podnikům v EU i ekofarmám. *Statistika&My*, 10-11/2019: 38-39 [27. 7. 2020].
- Munzi, S., Varela, Z., Paoli, L., 2019. Is the length of the drying period critical for photosynthesis reactivation in lichen and moss components of biological soil crusts? *Journal of Arid Environments* 166, 86–90.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.04.019>
- Nascimbene, J., Benesperi, R., Casazza, G., Chiarucci, A., Giordani, P., 2020. Range shifts of native and invasive trees exacerbate the impact of climate change on epiphyte distribution: The case of lung lichen and black locust in Italy. *Science of The Total Environment* 735, 139537.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139537>
- Novák, M., Kirchner, J.W., Fottová, D., Prechová, E., Jäcková, I., Krám, P., Hruska, J., 2005. Isotopic evidence for processes of sulfur retention/release in 13 forested catchments spanning a strong pollution gradient (Czech Republic, central Europe). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB4012.
<https://doi.org/10.1029/2004GB002396>
- Olivier, J.G.J., Bouwman, A.F., Van der Hoek, K.W., Berdowski, J.J.M., 1998. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990. *Environmental Pollution, Nitrogen, the Confer-N-s First International Nitrogen Conference 1998* 102, 135–148.
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)80026-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)80026-2)

- Pacyna, J.M., Larssen, S., Semb, A., 1991. European survey for NO_x emissions with emphasis on Eastern Europe. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25, 425–439.
[https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90313-V](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90313-V)
- Palice, Z., 2017. Lichen Biota of the Czech Republic, In: Chytrý, M., Danihelka, J., Kaplan, Z., Pyšek, P. (eds.), *Flora and Vegetation of the Czech Republic, Plant and Vegetation*. Springer International Publishing, Cham, pp. 177–192.
ISBN 978-3-319-63181-3
- Parungo, F., Nagamoto, C., Maddl, R., 1987. A Study of the Mechanisms of Acid Rain Formation. *Journal of the atmospheric sciences* 44, 3162–3174.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1987\)044<3162:ASOTMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1987)044<3162:ASOTMO>2.0.CO;2)
- Printzen, C., Palice, Z., 1999. The distribution, ecology and conservational status of the lichen genus *Biatora* in Central Europe. *The Lichenologist* 31, 319–335.
<https://doi.org/10.1006/lich.1999.0203>
- Rikkinen, J., 2015. Cyanolichens. *Biodiversity and Conservation* 24, 973–993.
<https://doi.org/10.1007/s10531-015-0906-8>
- Rose, C.I., Hawksworth, D.L., 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature* 289, 289–292.
<https://doi.org/10.1038/289289a0>
- Rubio-Salcedo, M., Psomas, A., Prieto, M., Zimmermann, N.E., Martínez, I., 2017. Case study of the implications of climate change for lichen diversity and distributions. *Biodiversity and Conservation* 26, 1121–1141. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1289-1>
- Singh, A., Agrawal, M., 2008. Acid rain and its ecological consequences. *Journal of environmental biology* 29, 15–24.
- Smith, R.I., Fowler, D., 2001. Uncertainty in Estimation of Wet Deposition of Sulphur. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 1, 341–354.
<https://doi.org/10.1023/A:1013144231312>
- Søchting, U., 1995. Lichens as monitors of nitrogen deposition. *Cryptogamic Botany* 5, 264–269.
- Šoun, J., Bouda, F., Kocourková, J., Malíček, J., Palice, Z., Peksa, O., Vondrák, J., 2017. Zajímavé nálezy Parmeliaceae v ČR. *Bryonora* 60, 46–64.
- Spier, L., Herk, C.M. van, 1997. Recent Increase of *Parmelia borrieri* in the Netherlands. *The Lichenologist* 29, 390–393. <https://doi.org/10.1017/S0024282997000467>
- Steinová, J., Bouda, F., Halda, J.P., Kukwa, M., Malíček, J., Müller, A., Palice, Z., Peksa, O., Schiefelbein, U., Svoboda, D., Syrovátková, L., Šoun, J., Uhlík, P., Vondrák, J., 2013. Lichens recorded during the 16th meeting of the Bryological and lichenological section CBS in Slavkovský les mountains, April 2009. *Bryonora* 51, 1–14.
- Svoboda D., 2007. Evaluation of the European method for mapping lichen diversity (LDV) as an indicator of environmental stress in the Czech Republic, *Biologia*, 62, 424–431.
<https://doi.org/10.2478/s11756-007-0085-5>
- Tanona, M., Czarnota, P., 2019. Natural disturbances of the structure of Norway spruce forests in Europe and their impact on the preservation of epixylic lichen diversity: A review. *Ecological Questions* 30, 7–17.
<https://doi.org/10.12775/EQ.2019.024>

- Timdal, E., 1984. The genus *Hypocenomyce* (Lecanorales, Lecideaceae), with special emphasis on the Norwegian and Swedish species. *Nordic Journal of Botany* 4, 83–108.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1984.tb01979.x>
- Uchida, R., 2000. Essential Nutrients for Plant Growth: Nutrient Functions and Deficiency Symptoms, In: Silva, J.A., and Uchida, R. (eds.), *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. University of Hawaii, Manoa, pp. 31–55.
 ISBN 1-929235-08-8
- Van Dobben, H.F., Ter Braak, C.J.F., 1998. Effects of atmospheric NH₃ on epiphytic lichens in the Netherlands: the pitfalls of biological monitoring. *Atmospheric Environment* 32, 551–557.
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00350-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00350-0)
- van Herk, C.M., 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *The Lichenologist* 33, 419–441.
<https://doi.org/10.1006/lich.2001.0337>
- Vondrák, J., Liška, J., 2010. Changes in distribution and substrate preferences of selected threatened lichens in the Czech Republic. *Biologia* 65, 595–602.
<https://doi.org/10.2478/s11756-010-0061-3>
- Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.